

# EVALUACIÓN DE HABILIDADES DE INDAGACIÓN

Concepció Ferrés Gurt, Anna Marbà Tallada

*Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals de la UAB*

**RESUMEN** A pesar de la importancia que los enfoques actuales de la didáctica de las ciencias dan a la indagación, las dificultades en la comprensión de los procesos que implica son habituales en los bachilleres. El elevado contenido conceptual del currículo y la presión de las pruebas de acceso a la universidad pueden ser unas de las causas, porque favorecen el predominio de modelos didácticos de transmisión de conocimientos y la poca utilización de actividades prácticas. El objetivo de este estudio es examinar la utilidad de cuestionarios centrados en procesos de indagación científica (QI) como instrumento de evaluación formativa. Se presentan dos estudios de caso que describen la utilización de QI, uno de ellos en una actividad puntual con un grupo ( $n=36$ ) de estudiantes de segundo de bachiller y otro en el seguimiento de una estudiante voluntaria durante seis meses. Se diseñaron rúbricas (QPTAI) para estandarizar el proceso de análisis. Los resultados del grupo muestran una identificación ambigua de la pregunta investigable y también incapacidad para formular una hipótesis coherente con los resultados mostrados y para identificar las variables. Las mayores dificultades aparecen en la estrategia de control de variables y en la descripción de la metodología. En el estudio individual se evidencia la persistencia de las dificultades a lo largo del proceso, dificultades que parecían superarse cuando se comentaban las respuestas a un QI en una actividad dialógica, pero que reaparecían cuando se proponía un nuevo QI en un contexto conceptual distinto. Consideramos que los resultados muestran que los QI pueden ser instrumentos útiles de evaluación formativa de las habilidades de indagación, con la ventaja que precisan menos tiempo que los procesos manipulativos propios de las prácticas habituales, y con el interés añadido de combinar prácticas científicas e ideas clave de la ciencia.

**PALABRAS CLAVE:** competencia de indagación, cuestionarios de habilidades, rúbricas

**OBJETIVOS:** en este estudio nos proponemos examinar la utilidad de cuestionarios de habilidades de indagación en la evaluación formativa, así como identificar capacidades y dificultades de los bachilleres en relación a la competencia de indagación.

## MARCO TEÓRICO

### La indagación en la didáctica de las ciencias

La indagación es un proceso fundamental en la didáctica de las ciencias puesto que no solo debe considerarse conocimiento conceptual, sino también conocimiento procedimental en referencia a cómo trabaja la ciencia (Osborne & Dillon, 2008, p.8). En el PISA 2015 Framework se describe la competencia científica como *“the ability to explain phenomena scientifically, evaluate and design scientific enquiry, and interpret data and evidence scientifically”* (OECD, 2013, p.7). Desde esta perspectiva, la

competencia de indagación se refiere a evaluar y diseñar indagación y a analizar e interpretar datos y proponer conclusiones e incluye habilidades como definir preguntas investigables, formular hipótesis, aplicar conocimiento científico adecuado, proponer formas de explorar científicamente una pregunta, obtener datos, analizarlos e interpretarlos y proponer conclusiones adecuadas (e.g. Ben David & Zohar, 2009; Nowak, Nehring, Tiemann & Upmeier zu Belzen, 2013). Pero a pesar de la importancia que el enfoque actual de la enseñanza de las ciencias otorga a la indagación, la literatura indica que las dificultades relacionadas con sus procesos son frecuentes (e.g. Ben David & Zohar, 2009; (Di Mauro & Furman, 2016; Lombard & Schneider, 2013; Schwichow, Christoph, Boone, & Härtig, 2016)

#### Evaluación de la competencia de indagación

La literatura ofrece referentes para evaluar la competencia de indagación desde dos perspectivas diferentes, una más epistemológica y la otra más procedimental. El cuestionario *Views About Scientific Inquiry* (VASI) es una muestra de la primera perspectiva (Lederman et al., 2014), y el *Practical Test Assessment Inventory* (PTAI) de la segunda (Tamir, Nussinovitz & Friedler, 1982). El PISA 2015 Framework propone una visión integradora que pretende no solo evaluar el conocimiento sobre la indagación sino también las habilidades que la caracterizan, y considerando tanto conocimiento procedimental como conocimiento conceptual. En nuestro estudio utilizamos esta aproximación y diseñamos rúbricas con el objetivo de evaluar habilidades de indagación.

## METODOLOGÍA

### Contexto

Se han recogido datos de estudiantes de segundo de bachillerato en un Instituto de Cataluña. En un estudio de caso se han obtenido de todos los estudiantes del grupo (n=36) en una prueba puntual, mientras que en el otro se ha seguido la evolución de una estudiante durante seis meses, en horario extraescolar, recogiendo sus respuestas iniciales y las posteriores a su diálogo con la investigadora.

### Instrumentos de recogida de datos

La Figuras 1 muestra uno de los cuestionarios utilizados, con demandas que combinan ideas clave de biología (Cinética Enzimática) y habilidades de indagación. La Tabla 1 relaciona las cuestiones planteadas y las habilidades de indagación tomando como referencia el Framework 2015 PISA.

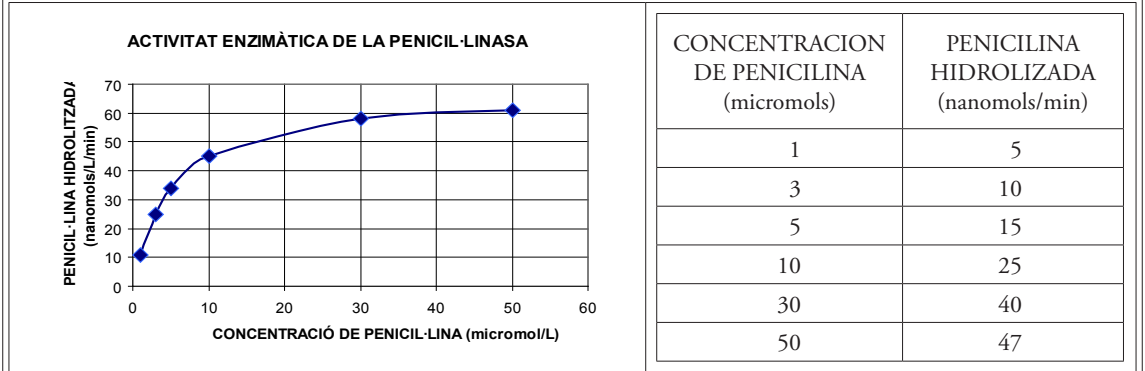
### Instrumentos de análisis

Se han diseñado rúbricas para evaluar las respuestas a los QI tomando como referencia el instrumento NPTAI, elaborado en investigaciones previas. Las rúbricas se denominan QPTAI; la Tabla 2 muestra algunas categorías de una de ellas.

Tabla 1.  
Relación entre las cuestiones y las habilidades de indagación

Competencias científicas	Habilidades para describir las competencias	QI 1
Evaluar y diseñar indagación	– Identificar cuestiones exploradas en una investigación IPI	3
	– Proponer formas para explorar preguntas científicamente DM	8
	– Identificar variables IVI, IVD, IVC	5
	– Elaborar y representar datos	1
	– Describir y evaluar las formas que utilizan los científicos para asegurar la fiabilidad de los datos y la objetividad y posibilidad de generalizar las explicaciones	6, 7
	– Considerar la importancia de utilizar réplicas y grupo control	
Interpretar datos científicamente	– Analizar e interpretar datos y proponer conclusiones A&C	2
Explicar fenómenos científicamente	– Recordar y aplicar conocimiento científico	2
	– Formular hipótesis FH	4

La penicilina es un antibiótico usado contra infecciones bacterianas, pero algunas bacterias producen penicilinasas, que la inactiva. El gráfico muestra la actividad enzimática de la penicilinasas. La tabla ofrece datos de la actividad enzimática con las mismas concentraciones de penicilina pero en presencia de ácido clavulánico.



1. Añadir al gráfico la representación de la actividad en presencia de clavulánico
2. ¿Qué conclusiones se pueden extraer? ¿Por qué los preparados farmacéuticos de penicilina contienen clavulánico?
3. ¿Qué preguntas se plantearon los investigadores?
4. ¿Qué hipótesis formularon?
5. ¿Cuáles son las variables independiente y dependiente de los experimentos?
6. ¿Cuál se puede considerar el grupo control?
7. ¿Crees que los investigadores trabajaron tan solo con seis tubos con clavulánico y seis sin? Explícalo
8. Describe el diseño metodológico que ha posibilitado la obtención de estos datos

Fig. 1. QI 1

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las mayores dificultades se han detectado en la identificación de variables controladas y en el diseño metodológico (Figura 2 y Tabla 2). En el extremo opuesto encontramos la identificación de la variable dependiente, aunque quizás los buenos resultados se deben a que ésta figura en la etiqueta del eje y los estudiantes han respondido mecánicamente.

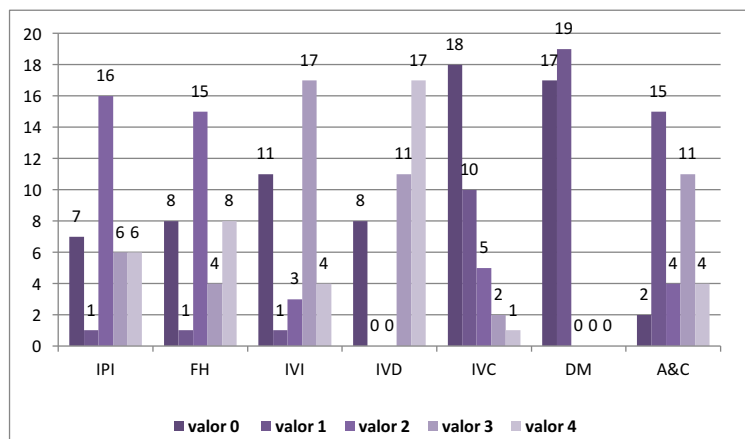


Fig. 2. Resultados de las respuestas al QI 1 (n=36)

Tabla 2.  
QNPTAI

Valor	n	Resultados en dos CATEGORÍAS de la rúbrica y ejemplos
FORMULAR HIPOTESIS		
0	8	No identifica la hipótesis
1	1	Establece hipótesis sin relación con el problema o genéricas <i>¿Cuál es el pH óptimo?</i>
2	15	Establece hipótesis ambiguas, con errores, o simples predicciones <i>El clavulánico influirá en la actividad enzimática.</i>
3	4	Establece hipótesis acordes con el problema y sugiere variables, pero imprecisas
4	8	Establece hipótesis adecuadas, en forma de deducción y descritas con relación a conceptos o modelos <i>Sabemos que hay bacterias productoras de penicilinas y que hay sustancias que pueden actuar como inhibidores enzimáticos (MODELO), entonces, si el clavulánico es un inhibidor, si añadimos clavulánico (VI) a medicamentos con penicilina, la actividad enzimática de la penicilinas (VD) y se reducirá la velocidad de hidrolización</i>
DISEÑO METODOLÓGICO		
0	17	No propone diseño metodológico relacionado con el problema
1	19	El diseño propuesto no permite testar la hipótesis
2	0	La metodología solo permite testar parcialmente la hipótesis o propone procesos sin relación
3	0	La metodología permite testar la hipótesis pero la descripción es incompleta o no propone réplicas
4	0	El diseño metodológico es adecuado y complete y propone réplicas y control <ul style="list-style-type: none"> <li>– Se dispone de enzima y sustrato y de preparan en las concentraciones deseadas</li> <li>– El proceso se realiza con una determinada y concreta concentración de enzima, y tan solo se varía la concentración de sustrato (penicilina) y la presencia o no de clavulánico: dos grupos de 6 tubos</li> <li>– Las condiciones deben permanecer constantes: pH, temperatura, concentración de penicilinas ...</li> <li>– Cada cierto tiempo hay que determinar la velocidad de hidrolización de la penicilina (VD)</li> <li>– Hay que realizar réplicas simultáneas o sucesivas (grupos de 12 tubos, 6 con clavulánico y 6 sin)</li> </ul>

El análisis de errores habituales en la identificación de variables controladas se ha realizado categorizando las respuestas de los estudiantes aplicando una aproximación inductiva (Tabla 3). Destacan las respuestas que citan variables genéricas (11,1%) o no relacionadas con la investigación propuesta (41,6%), que parecen evidenciar la tendencia a responder mecánicamente. La referencia a características de cultivo bacteriano (19,4%) indica el desconocimiento de la metodología propia de la investigación del contexto.

Tabla 3.  
Análisis de errores en la identificación de variables controladas

	n =36	%
Variables genéricas: las mismas condiciones ambientales, todo debe mantenerse constante	4	11,1
Referencia a variables sin sentido en la investigación analizada: luz, presión, humedad	15	41,6
Referencia a características del cultivo bacteriano: medio de cultivo, nutrientes, bacterias	7	19,4
Confusión entre variables controladas y grupo control: tubos sin clavulánico	2	5,5
Confusión entre variables controladas y variable dependiente, confundiendo aquello que se controla con aquello que se mide (penicilina hidrolizada)	5	13,8
Concentración de penicilina como variable controlada, sin especificar “las diferentes concentraciones de penicilina”	11	30,5

Los resultados del seguimiento de una estudiante evidencian mejora en las revisiones fruto del diálogo (puntos rojos) en comparación con las respuestas iniciales (puntos azules). El diálogo entre estudiante e investigadora parece fundamental para la mejora (Figura 3), pero no parece que sea duradera, pues no se observa una evolución positiva de respuestas iniciales al variar los contextos. La estudiante comentaba a menudo que las preguntas planteadas eran muy distintas de las habituales en sus clases.

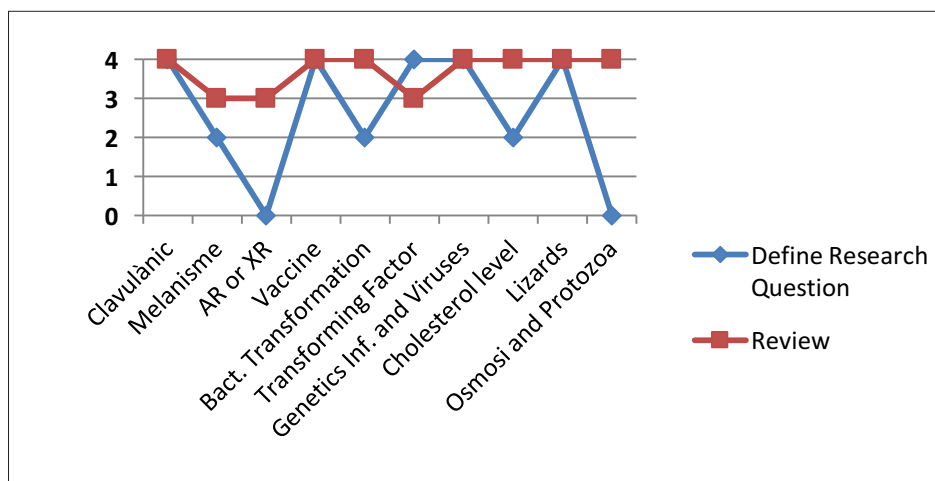


Fig. 3. Resultados antes y después del diálogo estudiante-investigadora

## CONCLUSIONES

Los resultados evidencian dificultades y permiten suponer que la indagación no tiene en las aulas el lugar que le correspondería, o bien que se limita a actividades de nivel bajo de indagación (Fay, Grove, Towns & Bretz, 2007). También podemos considerar la influencia del predominio de conocimiento

conceptual en los libros de texto, que no enfatiza la metodología científica y que determinan de manera trascendente aquello que se enseña (Binns & Bell, 2015).

El estudio muestra la utilidad que pueden tener los QI para promocionar la competencia de indagación con menos tiempo que las actividades manipulativas (Wilke & Straits, 2005). Acompañados por las rúbricas propuestas, pueden ser instrumentos de evaluación formativa y permiten estandarizarla, ofreciendo datos cuantitativos a partir de datos cualitativos como las respuestas de los estudiantes, y ayudando a examinar en qué procesos muestran las mayores dificultades y las incomprensiones habituales.

Nos parece remarcable el hecho que los QI proponen contextos de conocimiento conceptual substancial en los que las habilidades de indagación dependen de dicho conocimiento (Schwichow et al., 2016), puesto que pueden ayudar a promover procesos de reflexión relacionados con el conocimiento conceptual. Tradicionalmente, en nuestro entorno, los cuestionarios de indagación se presentan sin relación con las diversas unidades temáticas, asumiendo que conocimiento conceptual y conocimiento procedimental pueden disociarse. Habitualmente forman parte de una sección inicial en los libros de texto, dedicada a exponer “el método científico”, y se plantean en contextos de nivel bajo de demanda conceptual. A la luz de los resultados consideramos que ello favorece que los estudiantes respondan mecánicamente, sin relacionar sus respuestas con conceptos de la ciencia. Zimmerman (2007) comenta: “*A number of studies that followed students through repeated cycles of inquiry and all phases of the investigation showed the co-development of reasoning strategies and domain knowledge. Either acquisition alone will not account for the development of scientific thinking*” (p. 207). Consideramos que la aproximación que separa conocimiento conceptual y procedimental debe evitarse, proponiendo en su lugar actividades de indagación en los diversos bloques temáticos y en contextos diferentes para así conseguir una promoción efectiva de la competencia y un desarrollo paralelo de las habilidades de indagación y el conocimiento científico.

Investigación realizada en el marco del grupo *LIEC (Llenguatge i Ensenyament de les Ciències)* financiada por el Ministerio de Economía y Competitividad (referencia EDU2015-66643-C2-1-P). El *Grup LIEC* forma parte del grupo de investigación consolidado *LICEC* (referencia 2014SGR1492)

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEN DAVID, A., & ZOHAR, A. (2009). Contribution of Meta-strategic Knowledge to Scientific Inquiry Learning. *International Journal of Science Education*, 31(12), 1657–1682.
- BINNS, I.C. & BELL, R. L. (2015). Representation of Scientific Methodology in Secondary Science Textbooks. *Science & Education*, 24, 913–936.
- DI MAURO, M. F. & FURMAN, M. (2016). Impact of an inquiry unit on grade 4 students' science learning. *International Journal of Science Education*, 38(14), 2239–2258.
- FAY, E., GROVE, N., TOWNS, M.H. i BRETZ, S. L. (2007). A rubric to characterize inquiry in the undergraduate chemistry laboratory. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(2), 212–219.
- LEDERMAN, J. S., LEDERMAN, N. G., BARTOS, S. A., BARTELS, S. L., MEYER, A. A., & SCHWARTZ, R. S. (2014). Meaningful assessment of learners' understandings about scientific inquiry-The views about scientific inquiry (VASI) questionnaire. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(1), 65–83.
- LOMBARD, F., & SCHNEIDER, D. (2013). Good student questions in inquiry learning. *Journal of Biological Education*, 47(3), 166–174. Retrieved from

- NOWAK, K. H., NEHRING, A., TIEMANN, R., & UPMEIER ZU BELZEN, A. (2013). Assessing students' abilities in processes of scientific inquiry in biology using a paper-and-pencil test. *Journal of Biological Education*, 47(3), 182–188.
- OECD. (2013). *PISA 2015 Draft Science Framework*.
- OSBORNE, J. & DILLON, J. (2008). *Science Education in Europe: Critical Reflections. A Report to the Nuffield Foundation*. London.
- SCHWICHOW, M., CHRISTOPH, S., BOONE, W. J., & HÄRTIG, H. (2016). The impact of sub-skills and item content on students' skills with regard to the control-of-variables strategy. *International Journal of Science Education*, 38(2), 216–237.
- TAMIR, P, NUSSINOVITZ, R, FRIEDLER, Y. (1982). The design and use of Practical Tests Assessment Inventory. *Journal of Biological Education*, 16, 42–50.
- WILKE, R. R., & STRAITS, W. J. (2005). Practical Advice for Teaching Inquiry-Based Science Process Skills in the Biological Sciences. *The American Biology Teacher*, 67(9), 534–540.
- ZIMMERMAN, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review*, 27(2), 172–223.

